

43

HIDROGEOLOGIA Y RECURSOS HIDRAULICOS

IV

II SIMPOSIO NACIONAL DE HIDROGEOLOGIA

COMUNICACIONES

**Grupo de Trabajo de Hidrogeología
de la
Asociación de Geólogos Españoles**

Pamplona, 22 - 26 de Octubre de 1979

APLICACION DE UN MODELO DE MEZCLA TOTAL
EN ACUIFERO CARSTICO

J. Trilla, M. Sanz, L. Pallí

(Dpto. de Geodinámica Externa e Hidrogeología)

Resumen: Por el fondo de un valle de la provincia de Girona mana un conjunto de surgencias cuyo caudal total anual se acerca a medio centenar de hectómetros cúbicos. Controlando no solo la cantidad de agua de salida sino también su calidad desde el punto de vista de su contenido en tritio y a partir de un modelo conceptual de mezcla uniforme de las aguas de recarga, ya comprobado en otros sistemas, se acota la cadencia de participación en las surgencias de las distintas recargas anuales, así como el tiempo de renovación del volumen de agua del sistema hidrogeológico.

INTRODUCCION

En el pequeño valle de Sant Miquel de Campmajor (Provincia de Girona), tiene lugar una circulación hídrica subterránea un tanto particular que ha dirigido en gran parte la evolución morfogenética del mismo. En efecto, el fondo de dicho valle, además de verse sometido a la erosión y deposición de los procesos fluviotorrenciales, ofrece una profusión de socavones que motivan el hundimiento progresivo de dicho fondo.

Estos socavones parece que han ido apareciendo progresivamente a cotas topográficas cada vez más bajas, en relación con la evolución tectónica del valle (PALLI, TRILLA, 1979). Entre recientes y antiguos se ha inventariado un total de 86 socavo-

nes, con diámetros que varían desde poco menos de cinco metros hasta algún centenar de metros. Conforme se van produciendo se van convirtiendo en surgencias de aguas subterráneas, a la vez que se sacan los más antiguos situados a cotas superiores. El agua que surge por los más recientes y activos hidráulicamente, mana a un nivel de unos 5 m por encima del fondo del cauce del río Tort, que cruza el valle y que recoge el conjunto del caudal suministrado a través de los socavones, que constituye así el principal aporte hídrico de este pequeño río antes de su confluencia con el Sert.

En resumen pues, esos socavones provocados por la disolución de agua subterránea a presión, actúan de aliviadero natural o resurgencia de un sistema hidrogeológico.

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

El valle interesado está constituido por materiales eocénicos que soportan una débil cobertera cuaternaria. El conjunto de la formación eocénica se ha visto afectado por una acción tectónica de intensidad considerable y persistente hasta la actualidad.

MATERIALES

Los estratos más elevados, tanto topográfica como estratigráficamente, están constituidos por una formación roja en la que alternan margas, limolitas y areniscas rojas con lechos de conglomerados; el conjunto presenta una potencia de unos 50 m, aflorando en pequeños retazos que originan las partes más altas de los relieves circundantes al valle.

Subyacentemente aparecen una areniscas de grano grueso con niveles de biomicritas de pequeño espesor, localmente conglomeráticas. Hacia la parte inferior se pasa a areniscas margosas de grano fino a medio, ricas en glauconita y con cemento calcáreo.

Su potencia aproximada en el sector es de unos 140 m y forman los relieves enérgicos de las sierras que cierran la cuenca hidrográfica del valle.

A través de intercalaciones margosas muy fosilíferas se pasa subyacentemente a un conjunto de arcillas, arcillas margosas y margas azules, ocres por alteración, y con débiles intercalaciones de limolitas, con una potencia que sobrepasa los 200 m.

El nivel aflorante estratigráficamente más bajo en el sector, lo forma un complejo de yesos y anhidritas que alternan hacia su parte superior con carniolas, arcillas y margas azuladas. Sus afloramientos son muy escasos. Todo este nivel ha sido fuertemente tectonizado y su espesor de yacimiento aparece muy variable en los distintos sondeos que lo han atravesado : desde 50 m a 80 m e incluso 250 m.

Por debajo, no visible en la zona pero reconocida su existencia en sectores vecinos y puesto en evidencia por sondeos profundos, aparece un conjunto de calizas cristalinas, grises, orgánicas, con potencias que exceden los 150 m.

TECTÓNICA

El conjunto del valle presenta una estructura algo compleja debido a que ha sido afectado por accidentes tectónicos de edad y naturaleza diferentes.

Por un lado tenemos una tectónica por fracturas, con direcciones dominantes N-S, N 45° y N 135° y en menor proporción las de direcciones N 30°, N 65°, E-0 y N 160°. Todo este conjunto de dislocaciones -mapa 1- delimitan una serie de bloques que han originado la boya de Sant Miquel de Campmajor.

Por otro lado se nos ofrece otra alteración estructural constituyente en una serie de anticlinales y sinclinales, de dirección aproximada E-0 poco marcadas en general y en íntima relación con los afloramientos de yesos y anhidritas que perforan a sí la cobertera margosa, dando lugar a estructuras de tipo diapírico.

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS

El conjunto de la serie eocénica aflorante en el valle estudiado y en sus vertientes se puede clasificar en general como impermeable.

En cambio el paquete de calizas infrayacente se comporta como acuífero confinado, según se ha podido comprobar por los sondeos de reconocimiento que las alcanzan, aunque hay que advertir que su presión es muy variable en el tiempo, presentando épocas con aguas surgentes a varios metros por encima del nivel del río Tort y otras en que el nivel se sitúa muy poco por encima de la cota de confluencia de dicho río con el Sert.

El comportamiento hidráulico de los socavones más recientes ofrece igualmente unas variaciones de nivel parecidas, que ocasionan una gran variación a su vez en el caudal que el conjunto de los socavones activos aporta al río Tort, que se ha valorado en unos 2,3 m³/seg. en épocas de niveles altos y en unos 0,05 m³/seg. en época de niveles bajos.

La realimentación de este paquete calcáreo se efectúa fuera de los límites del valle, de Sant Miquel de Campmajor. Estratigráficamente estas calizas se extienden hacia el norte, donde es válido pensar que se pone en comunicación hidráulica con las calizas aflorantes que integran el macizo de la Garrotxa, con amplios sectores de afloramiento carstificado y donde podría situarse el área de realimentación del sistema, que recibe allí una pluviometría media anual de unos 1.113 l/m².

QUIMISMO

El quimismo de las aguas de escorrentía superficial del valle, al igual que su caudal, se ve totalmente influenciado por las aguas surgentes a través de los socavones. Así, si atendemos al anión más representativo de la zona, los sulfatos, tenemos que las aguas del río Tort antes de recibir las propias de los socavones presentan una concentración que oscila alrededor de los 70

ppm de sulfatos. Después de recibir estas aguas surgentes por los socavones (bullidors en la zona) presentan un contenido en sulfatos del orden de los 1200 ppm.

El quimismo de las aguas que surgen de los socavones es prácticamente idéntico entre sí y muy constante en el tiempo; así en la tabla I se exponen los resultados obtenidos mediante un muestreo mensual que abarca desde septiembre de 1977 hasta mayo de 1979. Parecidamente ocurre con la temperatura, que se mantiene prácticamente constante y alrededor de los 19,3° C.

TABLA I. QUIMISMO AGUAS SURGENTES POR LOS SOCAVONES

	Conduct. uScm ⁻¹	SO ₄ ^{="} ppm	HCO ₃ ⁻ ppm	Ca ²⁺ ppm	Mg ²⁺ ppm	Pureza total °F	Ph
Media aritmética \bar{x}	2532	1236	312	623	17	162	6,3
Desviación típica σ	62,7	83,6	6	28	4	5	0,5
Coef. variación $V = \frac{\sigma}{\bar{x}}$	2,4	6	1,9	4,4	23	3	4,4
Máximo M	2680	1400	322	670	22	171	7,5
Mínimo m	2470	1150	302	600	9	158	6,7
Total muestras n	16	16	16	16	16	16	16

DOTACION ISOTOPICA

Para obtener información sobre la dinámica hidrogeológica - del sistema que alimenta y motiva los socavones, se han controlado los aportes de tritio del agua de lluvia de la zona así como la dotación en ese isótopo que presentan las aguas surgentes por estos socavones.

Como es bien sabido el tritio es un isótopo del hidrógeno de masa tres que se descompone por emisión de partículas beta de

baja energía y con un período de semidesintegración de 12,26 años. Al formar parte de la molécula del agua constituye un trazador natural en algunos aspectos ideal.

Los contenidos de ese isótopo de las aguas de lluvia varían fundamentalmente de un punto a otro en función de su latitud, además de otras circunstancias como puede ser la continentalidad o alejamiento del mar.

Para el caso que nos ocupa se ha controlado el contenido en tritio de las aguas de lluvia incidente en el área interesada durante un periodo de 25 meses, lo que ha permitido comparar su similitud con series más largas obtenidas en Terrassa desde 1978 (TRILLA, 1974) y estas a su vez con las controladas en Thonon les Bains (C.R.G.), Orleans (B.R.G.M.) y Viena (I.A.E.A.) para periodos anteriores. De ese modo se ha concluido que las incidencias de tritio provenientes de la lluvia sobre el área interesada, corresponden a las expresadas en la figura 2.

Por su parte los contenidos en tritio de las aguas surgentes por los socavones durante el período controlado han sido los siguientes:

Fecha	[³ H]	Q(Hm ³ /mes)
1977 Mes		
9	59	4,5
10	54	6
11	60	3,5
12	58	3,5
1978		
1	51	3
2	49	3,6
3	47	3,5
4	45	5,3
5	38	4,5
6	40	5
7	38	3
8	50	1

Como puede observarse, los valores obtenidos constituyen una serie con tendencia paulatina a decrecer. Teniendo en cuenta además de las concentraciones la acotación de los distintos caudales manados a través de los socavones, se obtiene una media ponderada de 49 U.T., como valor representativo de las salidas de tritio del sistema que nos ocupa a lo largo de un periodo anual.

MODELO DE MEZCLA TOTAL

A partir de las series de valores de las concentraciones de tritio de entrada (recarga pluviométrica) y salidas (dotación de las aguas de las surgencias) del sistema, se ha aplicado el modelo de mezclas preconizado por HUBERT, MARCE, OLIVE, SIWERTZ (1970) que nos suministra información respecto de la hidrodinámica de dicho sistema.

En este modelo las salida S_n de isótopo a lo largo de un periodo son función lineal de las entradas E_n , con participación relativa distinta para cada periodo -un año- conforme nos vamos alejando hacia atrás, en el pasado.

Se supone que en cantidad de agua el volúmen emergido es igual al que ha entrado en función de la recarga por otro lado se parte del supuesto de que no hay más pérdidas de isótopo que las debidas a la desintegración y que el conjunto del sistema se va homogeneizando en contenido isotópico, en tritio, a lo largo del año.

De esta forma tenemos que:

$$S_n = a_0 E_n + a_1 E_{n-1} + \dots + a_p E_{n-p} \quad (1)$$

O sea que el contenido isotópico de las aguas surgentes es el resultado de la mezcla de una fracción a_0 del que presentan las aguas de recarga introducidas en el sistema durante el periodo en curso, más otra fracción a_1 procedente de la recarga del periodo anterior, etc.; viniendo expresadas a_0, a_1, \dots, a_p en tanto por uno. O sea que:

$$S_n = \sum_{p=0}^{p=\infty} a_p E_{n-p} \quad (2); \text{ con } \sum_{p=0}^{p=\infty} a_p = 1 \quad (3)$$

A partir del supuesto de que el sistema se homogeneiza a la escala de tiempo de un año, se puede escribir que:

$$S_n = \alpha \cdot E_n + (1-\alpha) S_{n-1} \quad (4)$$

Con lo que tenemos que la salida de isótopo S_n se debe a la mezcla de una fracción α de la recarga E_n en isótopo introducida durante el periodo en curso y el resto, $(1-\alpha)$, se debe al contenido isotópico homogeneizado S_{n-1} existente antes de esta recarga. De ese modo:

$$S_n = \alpha \cdot E_n + \lambda \cdot (1-\alpha) S_{n-1} \quad (5)$$

donde $\lambda = 0,95$ es el factor de decrecimiento de tritio en un año.

Dado que haciendo: $a_p = \alpha \cdot (1-\alpha)^p$ se satisface la condición:

$$\sum_{p=0}^{p=\infty} \alpha \cdot (1-\alpha)^p = 1, \text{ obtenemos que al tener en cuenta}$$

el descenso de contenidos en tritio por desintegración, podemos escribir en definitiva:

$$S_n = \sum_{p=0}^{p=\infty} \alpha \cdot (1-\alpha)^p \cdot \lambda^p \cdot E_{n-p} \quad (6)$$

Este coeficiente α , comprendido entre 0 y 1, lo denomina OLIVE (1970) coeficiente de recarga. Opinamos que esta denominación resulta algo engañosa o al menos confusa. Ese coeficiente indica la participación en las salidas a lo largo de un periodo (anual en nuestro caso) de las aguas infiltradas durante este mismo periodo. Así esa alfa será función del clima, permeabilidad y gradiente hidráulico del sistema, entre otras variables del mismo; por lo que es una resultante propia de cada sistema, indicativa de su dinámi-

ca. Por tanto su denominación debería ser más bien una expresión del tipo de: coeficiente de dinámica del sistema.

El mismo OLIVE en la obra citada llega a demostrar que esta se relaciona con el tiempo de renovación medio τ mediante la expresión:

$$\tau = \frac{2 - \alpha}{2\alpha} \quad (\tau \text{ en años}); \text{ lo que nos permi-}$$

te por otra parte acotar el colúmen V almacenado si se conoce la variación del mismo ($\Delta V/\Delta t$) a lo largo del año, que muy aproximadamente puede tomarse como $Q = \Delta V/\Delta t$; siendo Q el caudal que sale del sistema de forma natural.

$$\tau = \frac{V}{\Delta V/\Delta t} \simeq \frac{V}{Q}$$

De este modo, aplicando la ecuación (6) a nuestros datos, encontramos que el valor de α que mejor nos liga las series de datos de entrada y de salida de isótopo en el sistema es el de $\alpha = 0,30$. Con este valor la concentración calculada de salidas de tritio es de 52 U.T. y la observada es de 49 U.T. Dado que la diferencia es menor de un 10%, opinamos que el buscar por cálculo un valor de α que todavía nos acerque más los valores calculados a los observados, es totalmente irrisorio.

Así pues, adoptando este valor de $\alpha = 0,3$ como validamente representativo, tenemos que las aguas de recarga de nuestro sistema infiltradas a lo largo del periodo controlado, participan en un 30% en las salidas del mismo a lo largo del mismo periodo; el resto, 70% provienen de aguas infiltradas a lo largo de periodos superiores.

Por otro lado y a partir también de este valor de α hallado podemos acotar como se ha dicho, el tiempo τ de renovación media, que resulta ser así del orden de $\tau = 2,8$ años.

Finalmente y a partir de la cotación del caudal total que ha manado por los socavones, unos $46 \text{ Hm}^3/\text{año}$, podemos tener una aproximación válida al volúmen de agua almacenado en nuestro sistema, aunque no conozcamos por el momento sus dimensiones geográficas ni parámetros hidrogeológicos.

Así tendremos que : $V \simeq \tau \cdot Q = 128 \text{ Hm}^3$.

Puesto que existen fundamentadas sospechas de que la totalidad del sistema disponga de otras salidas además de las aquí estudiadas, este valor 128 Hm hay que tomarlo como valor mínimo almacenado, o una fracción del volumen total de agua del sistema, que alimenta las surgencias que manan por los socavones de Sant Miquel de Campmajor.

CONCLUSIONES

A modo de conclusiones tenemos pues que el fondo del valle de Sant Miquel de Campmajor evoluciona debido al agua subterránea que por él mana a presión y que en su ascenso va diluyendo los yesos suprayacentes al nivel calcáreo acuífero (fig. 1) originando socavones .

Este acuífero presenta un contenido isotópico muy uniforme , con variaciones mensuales comprendidas entre un 5% a un 10% y con tendencia general descendente, como reflejo de la mezcla de las distintas recargas también descendientes en tritio en la última década.

Por todo ello parece que el área estudiada constituye un buen ejemplo de sistema hidrogeológico en el que tiene lugar una mezcla prácticamente total de los distintos episodios lluviosos.

Aplicando así un modelo de mezcla adecuado tenemos que las aguas de la recarga anual participan en un 30% en el volumen total anual emergido por las surgencias de los socavones. A partir de estas surgencias se renueva el reservorio subterráneo que las alimenta aproximadamente cada unos 2,8 años, siendo el volumen del agua almacenado del orden de los 128 Hm³ .

Por consideraciones estructurales e hidrogeológicas del entorno regional, muy probablemente la capacidad total del agua subterránea almacenada en el sistema que nos ocupa será todavía superior, en función de la gran probabilidad de que otras surgencias de la región constituyan también aliviaderos naturales de este mismo sistema.

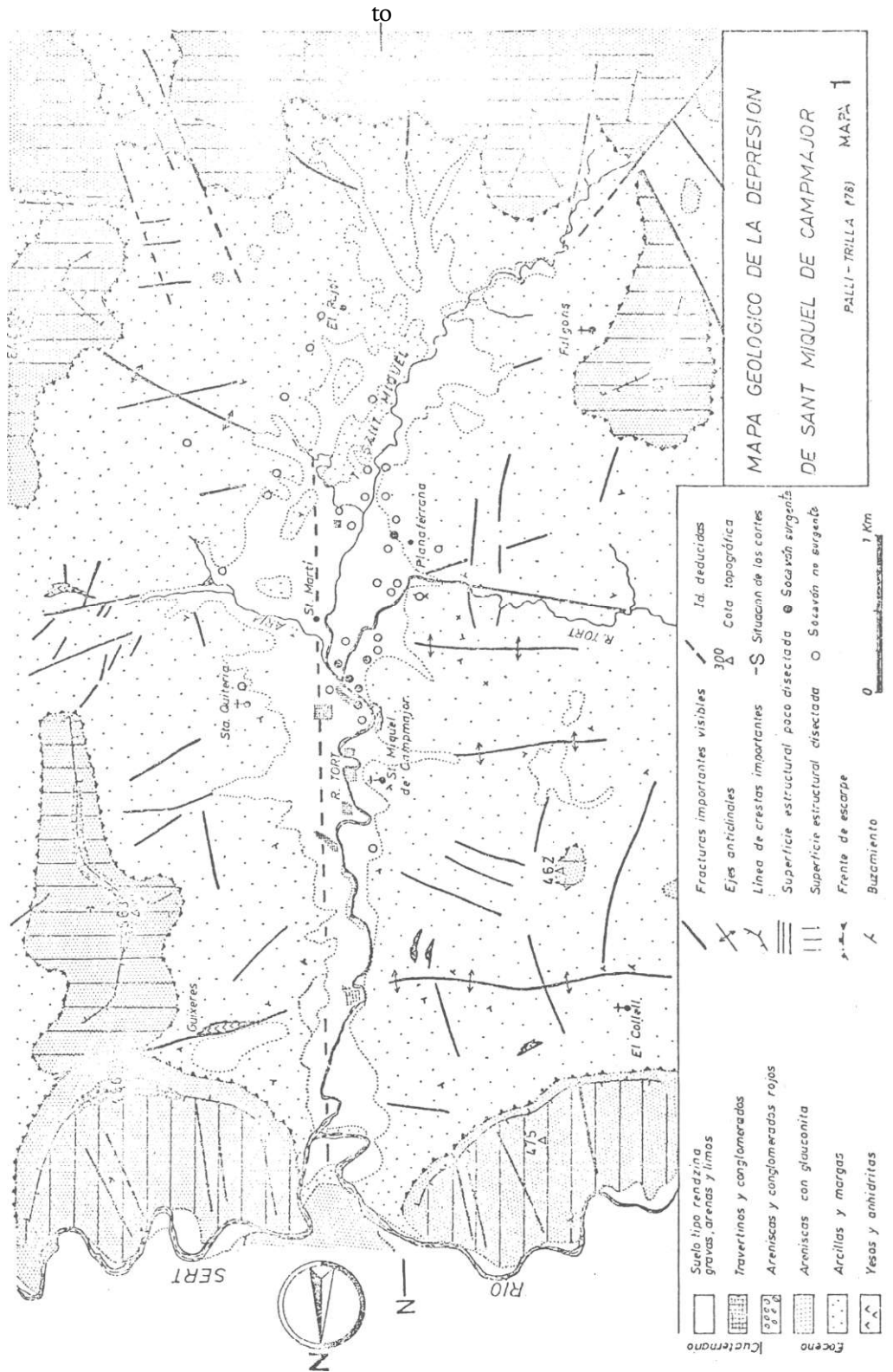
BIBLIOGRAFIA

HUBERT, P. ; MARCE, A. ; OLIVE, P. ; y SIWERTZ, E. (1970). - *Hydrogéologie Isotopique*. C.R. Acad.Sc. Paris, t. 270-908-911.

OLIVE, P. (1970).- *Contribution a l'étude geodynamique du cycle de l'eau dans l'hémisphere nord par la méthode du tritium*. Tesis de estado. C.R.G. Thonon (Francia).

PALLI, L. ; TRILLA, J. (1979).- *Morfogénesis del valle de Sant Miquel de Campmajor*. Tomo homenaje Dr. L. Solé Sabarís (En prensa).

TRILLA, J. (1974).- *Medios acuíferos del Baix Camp de Tarragona y superposición cronológica de sus aguas*. Geologia Tecnica n° 2. Pavia (Italia).



to

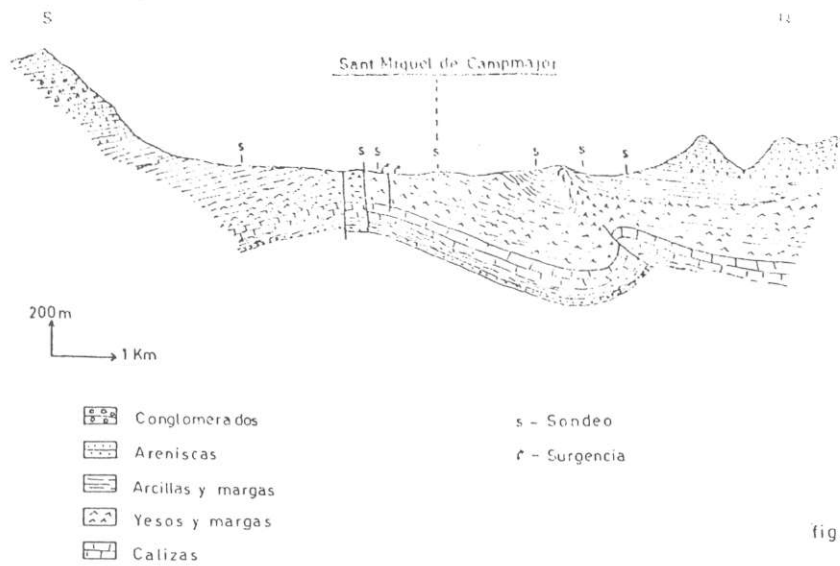


fig.1

